

Methode zur Optimierung der Bildqualität mittels Simulation geeigneter Röntgenparameter

Julian MÜLLER¹, Frank HEROLD¹, Tim SCHNEIDER¹
¹ VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH, Stockelsdorf

Kontakt E-Mail: j.mueller@visiconsult.de

Kurzfassung

Die Röntgentechnik hat sich in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) als Referenzmethode etabliert. Sowohl in der zweidimensionalen Durchleuchtungsprüfung als auch in der dreidimensionalen Computertomographie bildet die Röntgentechnik aufgrund ihrer sehr guten visuellen Abbildungseigenschaften die Referenz für jede Materialanalyse. Bisher wurden die für die Bildqualität entscheidenden Parameter, wie beispielsweise die Wahl der geeigneten Vorfilterung mit Material sowie der Röhrenspannung der Röntgenröhre, experimentell bestimmt bzw. aufgrund von Expertenwissen festgelegt, welches durch jahrelange Erfahrung aufgebaut und angewandt wurde. Die Parameterwahl erfolgt in letzterem Fall intuitiv.

In dieser Studie bestimmen wir mittels einer selbst entwickelten automatisierten Auswertung die optimale Dicke der Vorfilterung sowie die optimale Röhrenspannung der Röntgenröhre, um eine möglichst hohe Bildqualität insbesondere bei industriellen Computertomographie-Scans zu erreichen. Hierzu verwenden wir die Röntgensimulationssoftware aRTist der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Dabei werden die Filterdicken quantisiert, so dass diese typischen Materialstärken der in industriellen Röntgenanlagen vorhandenen Vorfilter entsprechen. Somit sind die errechneten Werte in der Praxis schnell anzuwenden. Eine optimale Vorfilterung kann auch aus Kombinationen verschiedener Materialien und Dicken bestehen. Zusätzlich wird die hierzu passende Röhrenspannung berechnet.

Zum Abschluss verifizieren wir die mit der oben beschriebenen Methode berechneten optimalen Röntgenparameter in einem Experiment sowohl durch Simulation als auch in einem realen Röntgenprüfsystem. Wir zeigen einen Vergleich der simulierten Werte zu realen Messungen, um die Effektivität der Optimierung nachzuweisen und die Vergleichbarkeit simulierter und realer Röntgenbilder zu demonstrieren.

Methode zur Optimierung der Bildqualität mittels Simulation geeigneter Röntgenparameter

Motivation

Die Röntgentechnik hat sich in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) als Referenzmethode etabliert. Sowohl in der zweidimensionalen Durchleuchtungsprüfung als auch in der dreidimensionalen Computertomographie bildet die Röntgentechnik aufgrund ihrer sehr guten visuellen Abbildungseigenschaften die Referenz für jede Materialanalyse.

Bisher wurden die für die Bildqualität entscheidenden Parameter, wie beispielsweise die Wahl der geeigneten Vorfilterung mit Material sowie der Röhrenspannung der Röntgenröhre, experimentell bestimmt bzw. aufgrund von Expertenwissen festgelegt, welches durch jahrelange Erfahrung aufgebaut und angewandt wurde. Die Parameterwahl erfolgt in letzterem Fall intuitiv.

In dieser Studie bestimmen wir mittels einer selbst entwickelten automatisierten Auswertung die optimale Dicke der Vorfilterung sowie die optimale Röhrenspannung der Röntgenröhre, um eine möglichst hohe Bildqualität insbesondere bei industriellen Computertomographie-Scans zu erreichen.

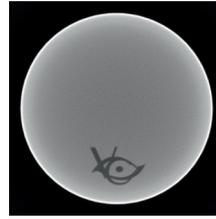


Abbildung 1: Schnittbild eines CTs mit sichtbaren Strahlauhärtungsartefakten

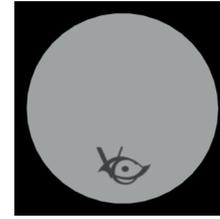


Abbildung 2: Schnittbild eines optimalen CTs ohne Strahlauhärtungsartefakte

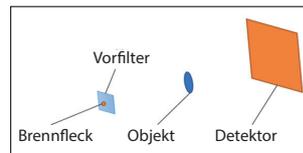


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Komponenten

Methoden

Das Röntgensimulationsprogramm aRTist von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) bietet die Möglichkeit, aus Kennwerten und Referenzbildern digitale Abbilder von Röntgenröhren und Detektoren einzupflegen. Der reale Absorptionskoeffizient verhält sich bei polyenergetischer Strahlung nicht konstant (s. Abb. 3). Der Verlauf des Absorptionswert dient somit als Maß für die Aufhärtung im Objekt. Durch Vorfilterung nähert sich die Kurve von einem exponentiellen Verlauf zu einer Geraden.

Gütekriterien:

1. Absorptionsverhältnis

$$AV = \frac{\mu(z = d)}{\mu(z = 0,01d)}$$

» Quotient vom Absorptionswert im letzten $\mu(z=d)$ und ersten Prozent $\mu(z=0,01d)$ der größte durchstrahlten Länge d des Untersuchungsobjekts:

2. Signalverlust

$$SV = \frac{S_{Filter}}{S_{ungefiltert}}$$

- » Messzeit verlängert sich durch den Filter, d.h. weniger Röntgenquanten erreichen den Detektor in einer bestimmten Zeit
- » Quotienten von gefiltertem Signal S_{Filter} und ungefiltertem Signal $S_{ungefiltert}$ des Material-Peaks beim Detektor

Daraus resultiert die Gütefunktion $G = SV \cdot AV$

» Bei einer Güte von 1 ist der Filter optimal gewählt.

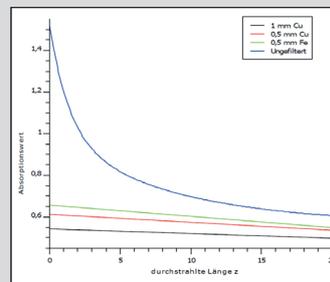


Abbildung 4: Absorptionskoeffizient in Abhängigkeit zur durchstrahlten Länge mit verschiedenen Filteroptionen

Die optimale Dicke und die Filtermaterialien werden mittels Optimierer aus den mit aRTist berechneten Daten für das gegebene Prüfobjekt approximiert. Dabei werden die möglichen Dicken auf 0,5 mm Schritte und 2 – 3 Materialien gleichzeitig beschränkt. Hierbei wird auch die Durchdringung des Materials berücksichtigt, so dass sichergestellt ist, dass der Detektor im linearen Bereich arbeitet und ein gewisses Signallevel eingehalten wird.

Mittels aRTist wurde der Aufbau der Röntgenkabine XRH222 mit einem Standard Matrixdetektor mit 200µm Pixelabstand simuliert (s. Abb. 4). Der errechnete optimale Filter von 0,5mm Stahl für eine Durchstrahlung von 20mm Aluminium wird in einer Messreihe auf Praxistauglichkeit überprüft.

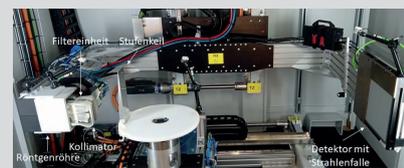


Abbildung 5: Messaufbau in einer VisiConsult XRH222 Röntgenanlage

Resultate und Zusammenfassung

Es wurden automatisiert Röntgenbilder der einzelnen Stufen eines Aluminiumstufenkeils aufgenommen und in einer Region Of Interest (ROI) die Grauwerte analysiert. Die um den Röntgenstrom normierten Grauwerte werden als Intensität ins Lambert-Beer'sche Gesetz eingesetzt und der Absorptionskoeffizient μ für Δz berechnet. Aus diesen Messwerten wurde das Absorptionsverhältnis und der Signalverlust bestimmt, woraus die Gütefunktion resultiert.

Die simulierte Messreihe soll die Auswirkungen von Streuung auf die Messwerte und daraus berechneten Werte zeigen.

Den Vergleich des Absorptionsverhältnisses zwischen den simulierten Werten und den realen Werten zeigen die Abbildungen 6 und 7.

Wir haben eine Methode vorgestellt, um optimierte Filter für verschiedene Bauteile zu errechnen (s. Tabelle 1) um z.B. Strahlauhärtungsartefakte auf ein Minimum zu reduzieren und so eine objektive Entscheidungshilfe bei der Wahl des geeigneten Vorfilters und auch der einzustellenden Hochspannung zu geben.

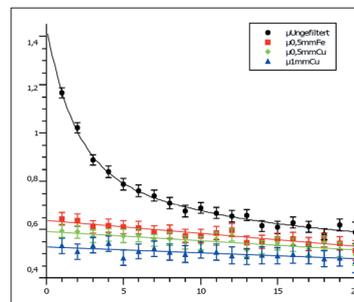


Abbildung 6: Auftragung der simulierten Messwerte mit Kurvenfit

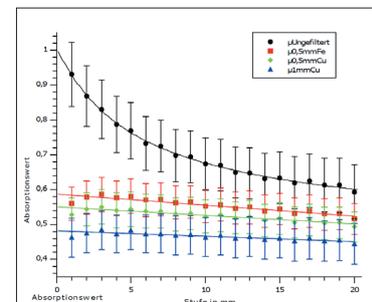


Abbildung 7: Auftragung der realen Messwerte mit Kurvenfit

Material	Durchstrahlte Dicke	Vorfilter	Hochspannung
Inconel 718	25 mm	Sn 4 mm + Mo 0.5 mm	450 kV
Stahl	30 mm	Pb 2 mm + Sn 2 mm	450 kV
Titan	40 mm	Sn 2.5 mm	340 kV
Aluminium	60 mm	Mo 0,5 mm + Al 0,5 mm	210 kV

Tabelle 1: Beispiele für Filteroptionen